第 32 卷 第 2 期　　昆 虫 学 报　　Vol. 32, No. 2
1989 年 5 月　　ACTA ENTOMOLOGICA SINICA　　May, 1989

川楝素与青虫菌等农药混用对菜青虫增效作用的试验

赵善欢　黄炳球　胡美英
（华南农业大学昆虫毒理研究室，广州）

摘要　川楝素分别与苏芸金杆菌（*B. t.* var. *galleriae*）、青虫菌 6 号、雷公藤根粉乙醇抽提物以及化学农药乐斯本混用，对保护作物避免菜青虫（*Pieris rapae* L.）幼虫的取食为害有明显的增效作用，而且对幼虫的化蛹及蛹重都有明显的抑制作用，具有理论和实际意义。

关键词　川楝素　苏芸金杆菌　增效作用　菜青虫

菜青虫（*Pieris rapae* L.）是十字花科蔬菜最严重的害虫之一，分布范围广，为害严重。长期以来以化学防治为主。由于用药不合理，导致菜青虫对多种化学农药产生了极高的抗药性，环境受到一定的污染，对人们的健康亦产生危害。蔬菜是人们每天生活中所必需的，蔬菜上农药残留量多少直接影响人们的健康。因此，大力发展“无公害”农药已成为当务之急。川楝素（Toosendanin）对菜青虫具有较高的拒食及毒杀作用（赵善欢等，1985），在环境中易于分解、无残留、无污染环境、害虫不易产生抗药性等，这些都是它的优点。但川楝素分离提纯的工艺较复杂，田间直接应用成本高。据报道，印楝种核抽提物与苏芸金杆菌（*Bacillus thuringiensis*）混用对草地贪夜蛾（伪粘虫）（*Spodoptera frugiperda* Smith）有明显的增效作用（Hellpap, 1983）。青虫菌 6 号大面积应用于蔬菜防治菜青虫已取得显著效果，仅广东省 1985 年推广应用面积达 24 万余亩。为了提高药效，降低成本，探索蔬菜上应用的“无公害”农药，我们从 1985 年开始，用川楝素与青虫菌 6 号液，苏芸金杆菌以及巴丹等农药混用，防治菜青虫的增效作用进行了室内测定及田间小区试验。现将试验方法及结果报告如下。

一、材料及方法

试验材料

供试药剂　1.98% 川楝素，中国人民解放军军事医学科学院微生物流行病研究所提供，1985 年。2.青虫菌 6 号液，内含 0.05% 氯氰菊酯，上海西郊公园农药厂，1984 年。3.苏芸金杆菌(即 B. t. var. galleriae，下同)，武汉微生物研究所提供，1985 年。4.98% 灭幼脲 1 号，江苏省金坛制药厂。5. 98.7% 巴丹原粉，日本产品，1985 年。6.雷公藤（*Tripterygium wilfordii*）根粉乙醇抽提物，取雷公藤根皮，在 50—60℃ 中烘干、粉碎，用 95% 已醇进行热抽提，浓缩物含量为 1 克粉/毫升。7.40.7% 乐斯本乳油（Chlorpyri-

本文于 1986 年 11 月收到。

fos, Lorsban)：美国陶氏化学公司产品，1985 年。

供试蔬菜　甘蓝（*Brassica oleracea* var. *copitata* Linn）

供试昆虫　菜青虫从田间采回，挑选虫龄及生理状态较一致的健康幼虫供试验用。

供试器械　Potter 喷雾塔及飞雾牌手动式喷雾器。

试验方法

1.保护叶面积 50% 浓度（PC_{50}）测定

在直径 120mm 的培养皿中放一张 110mm 的滤纸，均匀滴入清水 1 毫升，放入厚薄较均匀一致的 80mm 直径的甘蓝圆叶一片，接入 4 龄或 5 龄幼虫 5 头，随即放入 Potter 喷雾塔台上，压力为 10 磅/英寸，进行定量喷雾，每重复喷药液 1 毫升，沉降 30 秒，取出置于日平均温度 21±1℃、相对湿度 70±2%、光照 12 小时的温室内。每处理 8 个重复。处理后 48 小时用 LI-3000 型手提式自动叶面积测量仪测定幼虫取食的叶面积，用下列公式计算保叶效果：

$$\text{保叶效果}(\%)=\frac{\text{对照组取食叶面积}(mm^2)-\text{处理组取食叶面积}(mm^2)}{\text{对照组取食叶面积}(mm^2)}\times 100$$

2.增效作用测定：

(1) 共毒因子（简称 C. T. F）测定：用川楝素保叶 25% 的浓度与青虫菌 6 号或其他药剂保叶 25% 的浓度以 1:1 混合。按上述方法测定混用后的保叶效果，按共毒因子的公式计算，求出混用的增效或拮抗作用（谭福杰，1986），其公式如下：

$$\text{共毒因子}=\frac{\text{实测混用保叶效果}-\text{理论混用保叶效果}}{\text{理论混用保叶效果}}\times 100$$

共毒因子＞＋20 时为增效作用，＜－20 时为拮抗作用，在－20—＋20 之间时为相加。

(2) 用川楝素常用剂量 1/3 的浓度分别与 B. t、6 号菌等药剂常规使用浓度 1/3—1/6 混用。按方法 1 测定混用后的保叶效果，与常规使用浓度的保叶效果作比较。

(3) 对菜青虫生长发育影响观察：喷雾处理 48 小时后，将同一处理的活幼虫集中于 18 × 10cm 的圆玻璃缸中，并每天供应新鲜叶片。7—10 天后，计算累计死虫数及化蛹数，并逐个称蛹重。

所有试验数据用邓肯氏复全距（DMRT 法）统计，比较各处理间效果差异显著性。

3.小区试验：在菜地上种植芥兰苗，移植后 30 天，当芥兰上菜青虫达一定密度时，将菜地划分为若干小区，在各个小区内定点并记录 5 株菜苗上的幼虫数和卵粒数。喷药后 1、3、7天调查这些菜苗上的虫口变动情况。

二、试验结果

(一) 川楝素、青虫菌 6 号等对菜青虫 5 龄幼虫 PC_{50} 测定结果

川楝素、青虫菌 6 号、B. t. 及巴丹对菜青虫 5 龄幼虫 PC_{50} 的测定，每种药剂设 5 个浓度，每浓度设 8 个重复。根据浓度对数值及保叶效果机率值分别求出直线回归方程式 $Y=a+bx$，再求 PC_{50} 浓度，结果见表 1。四种药剂测定结果采用最小自乘法检定，证明实际毒力直线与理论毒力直线相吻合，因此，所求得的 PC_{50} 值可靠。

表 1 青虫菌 6 号、川楝素等药剂对菜青虫 5 龄幼虫的 PC_{50} 值测定结果 (广州，1986 年)

药剂	PC_{50}	直线回归方程	相关系数 (r)
青虫菌 6 号	1:3286	$y = 4.2737 + 1.5029x$	0.9992
B. t.	1:2027	$y = 3.8373 + 1.6779x$	0.9990
川楝素	332.7ppm	$y = -1.2147 + 2.4641x$	0.9981
巴丹	7.5ppm	$y = 3.1648 + 2.1022x$	0.9969

川楝素的保叶效果与其他三种药剂有本质上的不同，因为川楝素处理组幼虫的死亡率不高，主要是起拒食作用，使幼虫取食量减少，发育缓慢。而其他药剂则随浓度增加，死亡率相应提高，中毒的幼虫取食减少，从而达到一定的保叶效果。

(二) 川楝素与苏云金杆菌、巴丹混用对菜青虫的增效作用结果

1.共毒因子：川楝素与 B. t. 或 6 号菌混用，对叶片保护有明显的增效作用。共毒因子分别为 80.90 和 75.26，见表 2。

表 2 川楝素与 B. t. 等药剂 PC_{25} 混用对菜青虫 5 龄幼虫增效作用结果 (广州，1986 年 3 月)

结果 / 处理	取食叶面积 (mm^2)	保叶效果 (%)	共毒因子	备注
川楝素+6 号菌	211.8	87.63	75.26	1.表内数字为 8 个重复平均，结果为 24 小时
川楝素+B. t.	163.5	90.45	80.90	2.川楝素 PC_{25} 为 180ppm；6 号菌 PC_{25} 为 9173×；B. t. PC_{25} 为 5086x；巴丹 PC_{25} 为 3.77ppm。
B. t. + 巴丹	934.5	45.42	−9.16	
对照	1712.1			

2.混剂与常规使用浓度效果比较：

(1) 保叶效果：川楝素与 B. t. 或 6 号菌等混用对 4 龄和 5 龄幼虫试验结果表明：用 300ppm 的川楝素与低浓度的 B. t 或 6 号菌混用，对 4 龄和 5 龄幼虫均有明显的增效作用。对 4 龄虫保叶效果分别达到 94.78 和 96.22%，经 DMRT 法检验在 5% 水平时，相当于川楝素 (1000ppm) 单用，且明显高于 B. t. (500x) 和青虫菌 6 号 (500x)。对 5 龄幼虫的保叶效果分别是 84.16% 和 86.48%，相当于 1000ppm 川楝素和青虫菌 6 号(1:500)单用，高于 B. t. (1:500) 单用，但 B. t. 与巴丹混用效果则较差，增效作用不明显，见表 3。

(2) 对幼虫生长发育影响：川楝素及其混剂对菜青虫幼虫的毒杀和生长发育抑制作用结果见表 4。结果表明：从对幼虫的毒杀作用、化蛹率及蛹重来衡量，处理 4 龄虫的效果优于 5 龄虫的效果。对 4 龄虫的毒杀作用，三种混合配方的死亡率均高于各单方，且其试虫大部分在化蛹前死亡。川楝素混青虫菌 6 号或 B. t. 的，处理后 10 天，幼虫死亡率均达 87.18%，而各单方的死亡率只有 66.67%、50% 和 15.79%。以幼虫化蛹率及蛹重作比较，混合配方的化蛹率及蛹重均比各单方的为低。当对照组化蛹率达 91.18% 时，川楝素与青虫菌 6 号或 B. t. 混用组的化蛹率分别是 2.56% 和 7.69%，而各单方则高达 15.38%、76.32% 和 41.67%。混用组少数幼虫虽能进入蛹期，但蛹重明显低于其他各单方，混剂对 5 龄幼虫的效果不如 4 龄虫。

表 3　川楝素及其混剂对菜青虫幼虫增效作用结果　　（广州，1986 年 3 月）

处理 \ 结果 \ 虫龄	4 龄幼虫		5 龄幼虫		备　注
	取食面积 (mm^2)	保叶效果 (%)	取食面积 (mm^2)	保叶效果 (%)	
青虫菌 6 号(1:500)	550.6c	86.18	904.0dc	83.83	1. 表内数字为 8 个重复的平均值。 2. 数据后标有相同字母者，表示经 DMRT 法统计于 5% 水平时无显著差异。
B. t. (1:500)	988.9b	75.18	1395.0bc	75.05	
巴丹 (30ppm)	504.3cd	87.34	1214.0cd	78.29	
川楝素 (1000ppm)	231.5de	94.19	506.1e	87.37	
川楝素＋B. t. (300ppm) (1:2000)	207.9e	94.78	885.7dc	84.16	
川楝素＋青虫菌 6 号 (300ppm) (1:3000)	150.5e	96.22	756.1e	86.48	
川楝素＋巴丹 (300ppm) (8ppm)	465.0cd	88.33	—	—	
B. t. ＋ 巴丹 (2000x) (8ppm)	—	—	1805.6b	67.71	
对　照	3983.9a	—	5591.7a	—	

表 4　川楝素及其混剂对菜青虫幼虫生长发育的影响　　（广州，1986 年 3 月）

处理 \ 结果 \ 虫龄	4 龄幼虫						5 龄幼虫					
	处理后 10 天						处理后 5 天					
	总虫数 (头)	死亡虫数 (头)	死亡率 (%)	化蛹数 (头)	化蛹率 (%)	蛹重 (mg/蛹)	总虫数 (头)	死亡虫数 (头)	死亡率 (%)	化蛹数 (头)	化蛹率 (%)	蛹重 (mg/蛹)
川楝素 (300ppm)	33	22	66.67	6	15.38	144.0	50	12	24.00	19	38.00	142.4e
B. t. (1:2000)	38	6	15.79	29	76.32	170.2ab	52	11	21.15	36	69.23	160.7cd
青虫菌 6 号 (1:3000)	36	18	50.00	15	41.67	161.4b	48	3	6.25	38	79.17	171.3c
川楝素＋青虫菌 6 号 (300ppm＋1:3000)	39	34	87.18	1	2.56	115.0	48	17	35.42	24	50.00	143.4de
川楝素＋巴丹 (300ppm ＋ 8ppm)	38	20	52.6	11	28.95	138.3c						
川楝素＋B. t. (300ppm＋1:2000)	39	34	87.18	3	7.69	120.0	49	12	24.49	21	42.86	155.00de
B. t. ＋ 巴丹 (1:2000 ＋ 8ppm)							50	6	14.00	33	66.00	185.86c
巴丹 (8ppm)	29	2	6.90	25	86.21	179.2a	51	6	11.76	38	74.51	198.4a
对照	34	3	8.82	31	91.18	183.4a	56	6	10.71	46	82.14	188.8ab

（1）蛹重一项少于 10 个蛹的不参加统计。
（2）数据后标有相同字母者，表示经 DMRT 法统计于 5% 水平时无显著差异。

（三）川楝素与乐斯本、雷公藤乙醇抽提物混用的增效作用结果

川楝素与有机磷杀虫剂乐斯本混用，对 4 龄幼虫的取食为害有明显的阻止作用，处理后 48 小时保叶效果为 86.01%，经 DMRT 法统计，在 5% 水平时与单用川楝素（1000 ppm）或乐斯本（1:1000）的保叶效果无明显差异，而混用的浓度是单用的 1/2—1/4。处理后 8 天，川楝素与乐斯本混用的幼虫死亡率达 94.87%，化蛹率明显低于对照和各单方，少数幼虫虽能进入蛹期，但蛹重明显减少。川楝素与雷公藤乙醇抽提物混用，其保叶效果

表5 川楝素及其混剂对5龄菜青虫幼虫的增效作用结果 (广州，1986 年 4 月)

处理 / 结果	川楝素 (1000ppm)	2% 雷公藤根粉乙醇抽提物	40.7% 乐斯本 (1:1000)	0.5% 雷公藤根粉乙醇抽提物＋川楝素 (300ppm)	40.7% 乐斯本 (1:2000)＋川楝素 (300ppm)	对照
取食面积 (mm²)	549.4b	1072.1b	825.1b	731.4b	697.7b	4985.4a
保叶效果 (%)	88.89	78.50	83.45	85.33	86.01	—
备注	1 表内数字为 8 个重复平均 2 为 48 小时结果 3 数字后标有相同字母者，表示经 DMRT 法统计于 5% 水平时无显著差异。					

表6 川楝素及其混剂对菜青虫5龄幼虫的生长发育影响 (广州，1986 年 4 月)

处理 / 结果	总虫数 (头)	死虫数 (头)	死亡率 (%)	蛹数 (头)	化蛹率 (%)	蛹重 (mg/蛹)	备 注
川楝素 (300ppm)	39	13	33.33	19	48.72	155.7c	1.蛹数少于 10 头的，不参加统计。 2.数据后标有相同字母者，表示经 DMRT 法统计，于 5% 水平时无显著差异。
0.5% 雷公藤乙醇抽提物	31	8	25.81	19	61.29	165.1bc	
40.7% 乐斯本 (1:2000)	38	22	57.89	14	36.84	188.6a	
0.5% 雷公藤乙醇抽提物＋川楝素 (300ppm)	31	23	74.19	0	0.00	—	
川楝素 (300ppm)＋40.7% 乐斯本(1:2000)	39	37	94.87	2	5.13	142.5	
对 照	28	3	10.71	24	85.72	173.5ab	

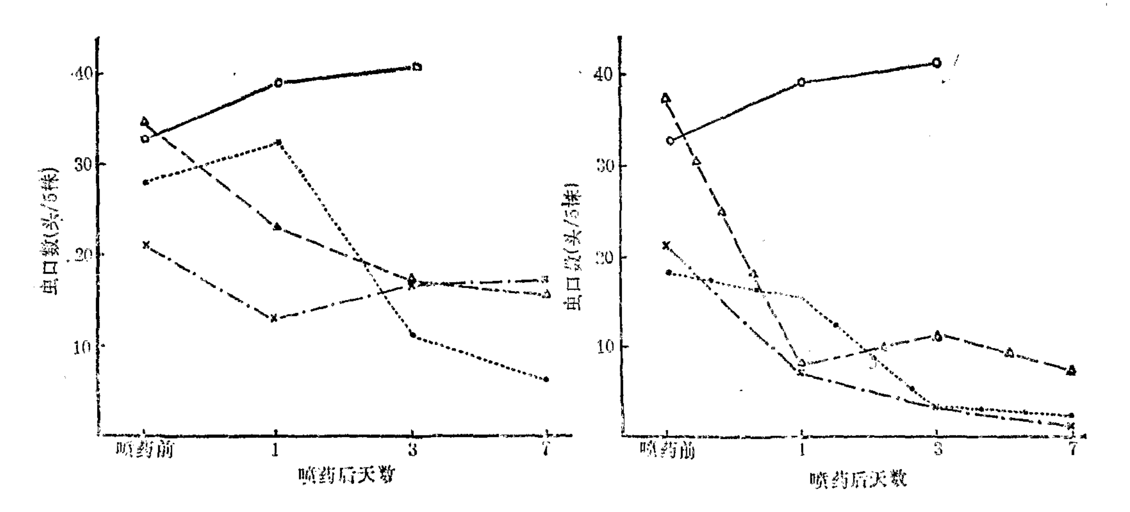


图1 单用药剂试验小区菜青虫口变动情况
(广州，1986 年 2 月)
○——○对照 ×—·—×青虫菌
△---△川楝素 ●-----●灭幼脲

图2 混合药剂试验小区菜青虫的虫口变动情况
(广州，1986 年 2 月)
○——○对照 △---△苦甲＋青虫菌 ●---●川楝素＋灭幼脲 ×—·—×川楝素＋青虫菌
(苦甲即苦楝种核甲醇抽提物)

及幼虫死亡率仅次于川楝素与乐斯本混用，明显高于各个单方，且化蛹率为零，这是值得注意的。因为处理后 5 天，对照的化蛹率已达 85.71%，表明川楝素与雷公藤抽提物混用

对菜青虫4龄幼虫发育具有强烈的抑制作用，大部分幼虫死于化蛹前，见表5和表6。

（四）小区试验

小区试验结果见图1及图2。用500ppm川楝素与1:2000青虫菌6号或50ppm灭幼脲混用，或是1000ppm苦楝种核甲醇抽提物与1:2000青虫菌6号混用，效果均明显提高，虫口数减退明显，对叶片有很好的保护作用。其中以川楝素与青虫菌6号或灭幼脲混用效果最好，施药后7天，川楝素与青虫菌6号混用的虫口减退率仍达96.0%。

试验中发现，青虫菌6号对幼虫有较强的击倒作用，而且作用迅速。施药后4小时即有幼虫被击倒坠落地上，24小时后幼虫死亡率为54.88%。青虫菌6号与川楝素或与苦楝甲醇抽提物混用亦如此，24小时后幼虫死亡率分别为75%和76.6%。但川楝素、苦楝甲醇抽提物或灭幼脲单用的处理区在施药后3天才开始发现有死虫，表明它们的作用是缓慢的，与青虫菌6号不一样，这可能与含有氯氰菊酯有关。

三、讨　论

1. 川楝素与青虫菌6号或苏芸金杆菌（*B. t.* var. *galleriae*）混用具有明显的阻止菜青虫4龄或5龄幼虫取食为害的作用，保叶共毒因子在75.26—80.90，并影响幼虫的生长发育，化蛹率和蛹重明显下降，对幼虫的毒杀力显著提高。经这两个混合配方处理的4龄幼虫，化蛹率仅为2.56—7.69%，而化蛹的蛹重只有115—120毫克，而对照的化蛹率达91.18%，蛹重为183.4毫克。

2. 相同的混合配方及浓度对4龄幼虫的效果高于5龄幼虫。300ppm川楝素与1:3000青虫菌6号混用，对4龄幼虫的保叶效果为96.22%，而对5龄幼虫的效果则为86.48%；幼虫死亡率4龄幼虫为87.0%，5龄幼虫为35.42%；化蛹率4龄幼虫为2.56%，5龄幼虫为50.0%；蛹重4龄幼虫为115毫克，5龄幼虫为143.4毫克。以上结果说明，对菜青虫幼虫的防治宜在低龄期进行，这样可获得较高的效果，在实际防治工作中掌握这一点是极为重要的，因为低龄虫取食量少，为害还不很严重。据Slansky (1973)报道，菜青虫每头幼虫取食植物组织量约为1.5克，低龄幼虫取食量少，且对药剂敏感。每头虫4龄前的取食量仅占其取食总量的15%，即约0.225克，而5龄后取食占总量85%，约1.275克。因此，抓住3龄前进行防治，可以更有效地保护作物，亦可能更显著地影响幼虫的生长发育。小区试验结果也初步证明这一点。

3. 川楝素与化学农药如乐斯本混用，对4龄幼虫具有明显的阻止取食作用和毒杀作用，并明显影响化蛹和蛹重。乐斯本触杀作用强，残效期短，较适合于蔬菜上使用。这一配方值得作进一步试验。

4. 川楝素与雷公藤根粉乙醇抽提物混用，对5龄幼虫的保叶增效作用明显，并能提高对幼虫的毒杀作用和抑制幼虫生长发育的作用，被处理的幼虫大部分于化蛹前死亡。当对照化蛹率达85.71%时，此混合配方仍未有幼虫化蛹。

5. 我们在试验中发现，人工合成的有机农药，如巴丹、乐斯本等，对幼虫虽有较迅速的毒杀作用，但残存的活虫取食及生长发育均正常，化蛹后其蛹重与对照组没有差异。但大多数植物性杀虫剂，无论单用或混用，不仅化蛹率降低，而且蛹重明显低于对照组，说明植物性杀虫剂不仅干扰害虫取食，起到保护叶片的作用，而且还能对幼虫的生长发育及变态

都产生明显的影响，与一般合成的有机杀虫剂不同。这种现象有待作进一步的研究，因为这对害虫对药剂产生抗药性和对害虫种群数量的抑制都是有意义的。

6. 田间应用 500ppm 川楝素防治菜青虫，喷药后 7 天虫口减退率达 58.97%，这与赵善欢等(1985)报道的结果是相似的，而将同浓度的川楝素与青虫菌 6 号(1:2000)混用，虫口减退率上升至 96.0%，或与灭幼脲混用，虫口减退率达 90.48%，灭幼脲单用为 79.31%，表明混用是具有实际意义的。

7. 蔬菜是一种生长周期短的作物，经济价值高，是人们每天生活中不可缺少的食品。因此，增加蔬菜的产量，减少和避免农药对蔬菜的污染，生产低残留或无公害的蔬菜已成为广大人民共同迫切的要求。植物和微生物来源于自然界，不会产生环境污染，没有残留和残毒问题，采用这类农药与少量化学农药混用，亦可减少对作物和环境的污染。我们的试验结果初步证明：川楝素与苏芸金杆菌、雷公藤根粉乙醇抽提物或乐斯本混用，对菜青虫有较明显的增效作用。如果能大面积应用，对害虫的种群数量将能有效的抑制，对蔬菜的质量会有很大的提高，从而获得良好的经济效益和生态效益，为低残留或"无公害"蔬菜的生产开辟一条新途径。因此，这方面的工作值得作进一步的深入研究。

参　考　文　献

邱友德等　1980　灭幼脲对黄檀丑丹蛾和菜白蝶幼虫生物活性的初步测定。昆虫激素 **2**: 48。

张瑞亭等编　1987　农药的混用与混剂。化学工业出版社。

张履鸿　1982　苏芸金杆菌对菜青虫的毒力测定及田间防治效果。东北农学院学报 **1**: 29。

赵善欢、曹毅、彭中健、黄家焮　1985　应用天然植物产品川楝素防治菜青虫试验。植物保护学报 **12**(2): 125—32。

高中兴　1965　植物性杀虫剂。农药知识小丛书 **13**: 46。

童红云　1986　雷公藤、黄杜鹃对菜青虫的毒理效应及防治的研究。华南农业大学研究生毕业论文 1—58 页。

谭福杰　1986　杀虫剂混用的生物测定方法。昆虫知识 **23**(6): 279—81。

Hellpap. 1983 Effects of neem kernel extracts on the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Proc. 2nd Intern. Neem Conf. Federal Republic of Germany. P357—360.

Slansky, F. 1973 Energetic and nutritional interactions between larvae of the imported cabbage butterfly *Pieris rapae* L. and cruciferous food plants. Ph. D. Thesis, Cornell University.

Warthen, J. D. Jr. 1979 *Azadirachta indica*: a source of insect feeding inhibitors and growth regulators. Agricultural Reviews and Manuals, Science and Education Administration, USDA ARM-NE-4.

THE SYNERGISTIC EFFECT OF TOOSENDANIN IN ADMIXTURE WITH *BACILLUS THURINGIENSIS* AND OTHER INSECTICIDES AGAINST THE CABBAGE WORM *PIERIS RAPAE* L.

Chiu Shin-foon　Huang Bing-qui　Hu Mei-ying

(Laboratory of Insect Toxicology, South China Agricultural University, Guangzhou)

Results of laboratory and field experiments with mixtures of toosendanin, *Bacillus thuringiensis* (B. t.), B. t. No. 6 (containing 0.05% cypermethrin), ethanol extract of the root-bark of the thunder-god-vine (*Trypterygium wilfordii* Hook f.) or chlorpyrifos showed marked synergistic effects in controlling the damage of the cabbage worm. It was found that although the conventional organic insecticides such as cartap, chlorpyrifos exhibited a rapid toxic action against the cabbage worm, yet those survived the treatment fed and developed normally, and the weight of the pupae was similar to that of the unreated larvae. With botanical insecticides, however, either applied alone or in admixture with other insecticides, the percentage of pupation was significantly decreased in the larvae which survived the treatments and interestingly, the weight of the pupae was found to be markedly lighter than the untreated control. This discovery seems to indicate that the toxic principles of the botanical insecticides, such as toosendanin and *Tripterygium* alkaloids would possess growth disrupting properties against the cabbage worm and furthermore it may have far-reaching importance in studying the mechanism and genetics of insecticide-resistance.

Key words Toosendanin——*Bacillus thuringiensis*——synergistic action ——*Pieris rapae* L.